



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ODLITKŮ Z ŽELEZNÝCH A NEŽELEZNÝCH SLITIN Odstředivým litím

MANUFACTURE OF CENTRIFUGAL CASTINGS FROM IRON AND NON-IRON ALLOYS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Miroslav Žanda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Cupák, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Miroslav Žanda**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Petr Cupák, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba odlitků z železných a neželezných slitin odstředivým litím

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešerše z odborné české i zahraniční literatury týkající se technologií odstředivého lití železných a neželezných slitin.

Cíle bakalářské práce:

Zmapování technologií odstředivého lití odlitků ze železných i neželezných slitin. Popis používaných technologií, popis výhod a nevýhod jednotlivých technologií odstředivého lití.

Seznam doporučené literatury:

JOCH, A. Odlévání turbínových kol turbodmychadel technologií přesného lití s využitím rotace skořepinové formy ve vakuu. Slévárství. 2011, roč. 59, č. 3-4, s. 69–71. ISSN 0037-6825.

GUŠČIN, N.,S., aj. Ob intenzivnosti odvodu tepla ot zalitogu methallu pri centroběžnogo lit'ji. Litejnoje Proizvodstvo. 2011, č. 3, s. 27-28. ISSN 0024-449X.

NURALIJEV, F.,A. O krystalizaci methallu pri centroběžnogo lit'ji. Litejnoje Proizvodstvo. 2011, č. 8, s. 23-25. ISSN 0024-449X.

TREJO, E., aj. Effect of Mold Design on Porosity and Strenght of a Centrifugally Cast Aluminium Alloy. Transactions AFS. 2011, roč. 119, no. 69, s. 57–66. ISBN 0-87433-155-2.

DAMING, X., LIMIN, J. a HENGZHI, F. Effect of centrifugal and Coriolis forces on the mold-filing behavior of titanium melts in vertically rotating molds. China Foundry. 2008, roč. 5, č. 4. s. 249 – 257.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

ŽANDA Miroslav: Výroba odlitků z železných a neželezných slitin odstředivým litím.

Práce popisuje a charakterizuje slévarenskou metodu odstředivé lití, která vznikla již v 16.století. Na základě literární studie problematiky odstředivého lití a odstředivé síle je popsán princip odstředivého lití. Odstředivé lití se dá rozdělit podle polohy osy rotace na horizontální a vertikální nebo podle druhu metody na pravé odstředivé lití, poloodstředivé lití, odlévání na odstředivce či na metodu Tekcast. Nejzákladnějším a nejběžnějším produktem odstředivého lití je trubka. U výroby trubky se postupuje od tavby materiálu, přes předoperační přípravu stroje, odlévání a tuhnutí taveniny, až po upravování a dokončování trubky. Odstředivě odlévat se dají různé materiály, a to zejména ocel, litina, měď, zinek, hliník a titan. Odstředivým litím můžeme odlévat také vícevrstvé odlitky.

Klíčová slova: Odstředivá síla, odlévání, odlitek, vícevrstvé odlitky, odlévání trubek

ABSTRACT

ŽANDA Miroslav: Manufacture of centrifugal Castings from iron and non-iron alloys.

The thesis describes and characterizes the foundry method of centrifugal casting, which was established in the 16th century. Based on a literature study of centrifugal casting and centrifugal force, the principle of centrifugal casting is described. Centrifugal casting can be divided according to the position of the axis of rotation to horizontal and vertical or by the method of right centrifugal casting, semi-centrifugal casting, centrifugal casting, or Tekcast method. The most basic and most common centrifugal casting product is a pipe. The pipe production is progressing from material melting, pre-operation machine preparation, casting and solidification of the melt, to adjusting and finishing of the pipe. We can cast centrifugally a several of materials, especially steel, cast iron, copper, zinc, aluminum and titanium. Centrifugal casting can also cast multilayer castings.

Keywords: Centrifugal force, casting, cast, multilayer castings, casting of pipes

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŽANDA, Miroslav. *Výroba odlitků z železných a neželezných slitin odstředivým litím*. Brno, 2017. 39s, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor slévárenství. Vedoucí práce Ing. Petr Cupák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Výroba odlitků z železných i neželezných slitin odstředivým litím** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Miroslav Žanda

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Petru Cupákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Velké díky patří také Královopolské slévárně a jejím zaměstnancům, kteří byli ochotní mi technologii odstředivého lití předvést. Dále bych chtěl také poděkovat rodině, která při mně stála ve všech složitých situacích, psychicky i finančně mě podporovala a umožnila mi studium na této škole.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Str.

ÚVOD	10
1 HISTORIE	11
2 PROCES ODLÉVÁNÍ	12
2.1 Lití	12
2.2 Odstřed'ování	12
2.3 Odstředivá síla	13
2.4 Gravitační síla	13
2.5 Coriolisova síla	13
2.6 Tuhnutí odlitku	14
3 ROZDĚLENÍ ODSŤŘEDIVÉHO LITÍ	15
3.1 Horizontální odstřediví lití	15
3.2 Vertikální odstředivé lití	15
4 METODY ODSŤŘEDIVÉHO LITÍ	17
4.1 Pravé odstředivé lití	17
4.1.1 Do silikonových forem	18
4.1.2 Do kokil	18
4.2 Poloodstředivé lití	19
4.3 Odlévání na odstředivce	20
4.4 Metoda TEKCAST	21
5 ODSŤŘEDIVÉ LITÍ TRUBEK	23
5.1 Tavba materiálu	23
5.2 Předoperační příprava	24
5.3 Odlití	26
5.4 Tuhnutí	28
5.5 Upravování a dokončování	28
5.5.1 Normalizační žihání	28
5.5.2 Rovnání	29
5.5.3 Řezání	29
5.5.4 Obrábění trubky	30
5.6 Export	30

6 MATERIÁLY	31
6.1 Ocel	31
6.2 Litina	32
6.3 Měď	32
6.4 Zinek	33
6.5 Hliník	33
6.6 Titan	34
6.7 Bimetalické odlitky	34
7 FORMY	35
7.1 Formy z kovu	35
7.2 Formy z grafitu	35
7.3 Formy z gumy	35
8 SROVNÁNÍ TECHNOLOGIÍ	36
9 VÝHODY A NEVÝHODY Odstředivého lití	38
ZÁVĚR	39

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam tabulek

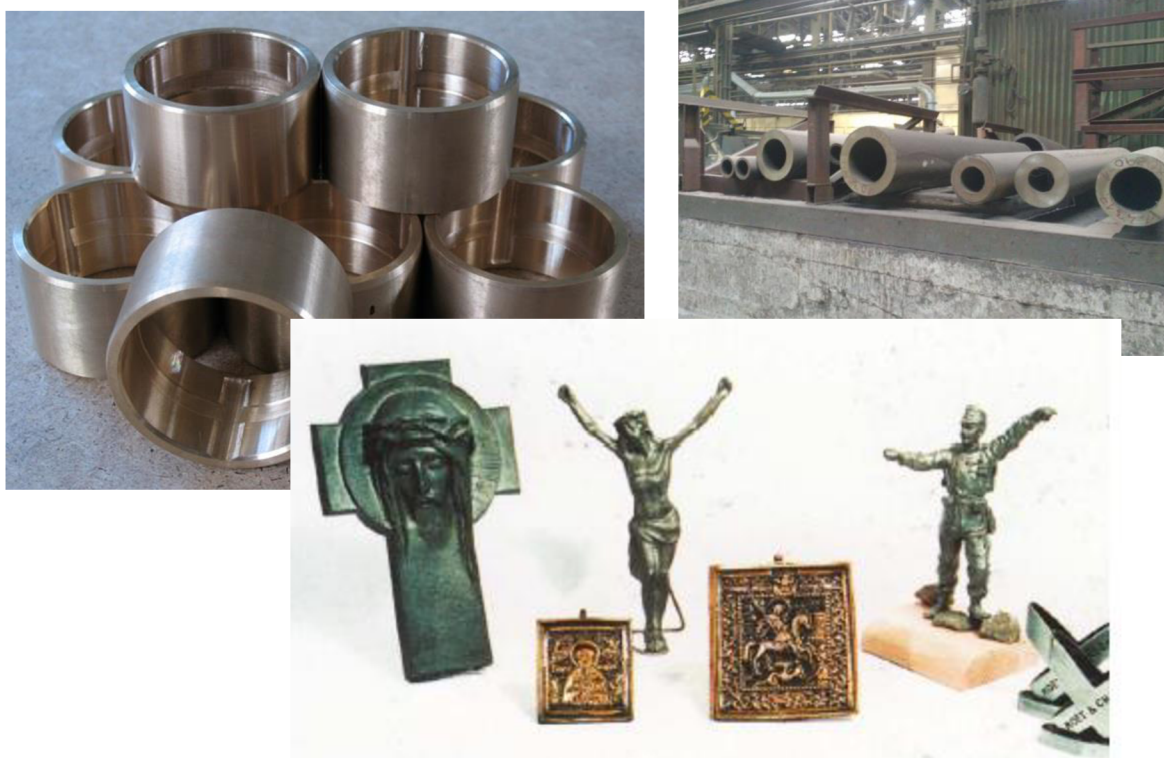
Seznam obrázků

ÚVOD

Technologii odlévání volíme zejména pro výrobky složitějších tvarů, které by se těžko vyráběly jiným způsobem, jako je obrábění nebo svařování. Při odlévání může slitina zatékat do formy volně, svou tíhou, tedy se jedná o gravitační lití, nebo nuceně, pak se jedná o tlakové lití nebo odstředivé lití. A právě na základy a seznámení s technologií odstředivého lití je zaměřena tato práce.

Odstředivé lití využívá odstředivé síly, díky které dosahujeme lepší zabíhavosti roztaveného kovu a lze jej využít téměř pro všechny materiály odlévané ostatními metodami. Odlévány jsou jak kovové materiály (cín, zinek, litina, různé druhy ocelí), tak i nekovové materiály (keramika, plast, sklo). Problémové jsou materiály, které mají vysokou teplotu tavení, u nichž není dostatečně mnoho času pro odlití a materiál tuhne dříve, než stihne zatéct do všech míst formy. Metoda odstředivého lití je velmi přesná, rychlá (příprava formy méně jak jeden den) a ekonomicky výhodná (cena formy od 2 000 do 20 000 Kč). [24]

Přes veškeré převažující klady, je metoda odstředivého lití stále mírně opomíjena a nedochází k přílišnému vývoji v této oblasti technologie. Důvodem sepsání této práce je sjednocení základních informací o technologii odstředivého lití, pro jednodušší studium technologie a také vyzdvižení výhod, které jsou bezesporu nemalé.



Obr.1: Produkty odstředivého lití [2]

1 HISTORIE

Metoda odstředivého lití byla poprvé použita již v 16.století v Itálii. Mezi prvotní zakladatele této metody v podobě, jak ji známe dnes, patří italský sochař a zlatník Benvenuto Cellini. První patent na stroj určený pro odstředivé lití se však objevil až roku 1807 v Anglii, když s revolučním strojem, který uváděl formu do pohybu ve vzpřímené poloze pomocí otočných základěn, přišel britský vynálezce A.G. Eckhardt. Tímto vznikl první předchůdce vertikálních licích strojů dnešní doby. Na tento stroj navázal Eckhardtův krajan Andrew Shanks, který roku 1848 odlil první litinovou trubku délky 3500 mm a průměru bezmála 80 mm. Od konce 19.století je tato technologie již nadobro nazývána technologií odstředivého lití.

Počátkem 20.století získala tato metoda velkého uplatnění ve Fordových závodech, pro výrobu zejména polotovarů ložisek pro motory. Hlavní výhodou této metody bylo odstředění vměstků a nekovových částic do povrchové vrstvy, ze které již byly lehce odstraněny obráběním. Nemenší výhodou bylo také zhuštění výroby netypických součástí.

Roku 1907 získalo odstředivé lití nový rozměr. Americký zubař Dr. W.H.Taggart představil metodu odlévání zubních náhrad pomocí formy kravského zvonu, ve kterém bylo srdce zvonu nahrazeno smotaným drátem ve tvaru odlitku. Od této chvíle nebylo odstředivé lití jen metodou pro odlévání velkých odlitků, ale stalo se významnou metodou pro výrobu šperků. K úplnému zefektivnění Taggartovy metody došlo v roce 1948, které umožnilo kombinaci odstředivého lití s vakuovým litím, tedy lití bez přístupu vzduchu. Neustálé zlepšování metod pro výrobu šperků, probíhá do dnešních dob. [23]



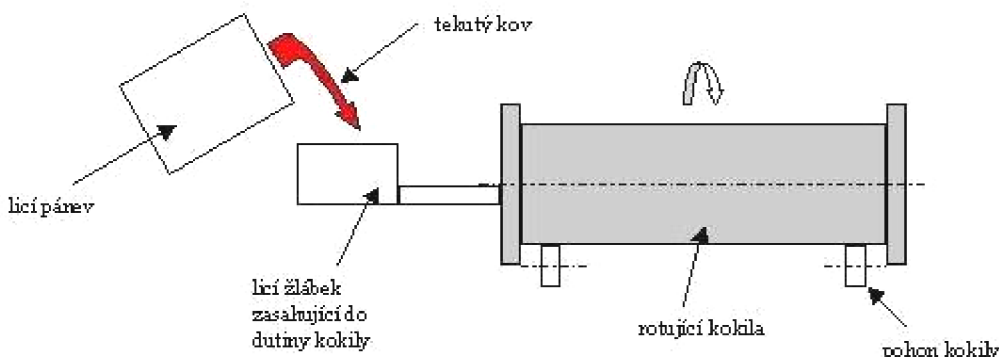
Obr.2: Sochař Benvenuto Cellini [23]

2 PROCES ODLÉVÁNÍ

2.1 Lití

Odlitky se takto vyrábějí litím kovu do rotující formy nebo do formy, která začne rotovat až při lití, takže kov začne konat rotační pohyb ve formě. Většinou se začíná na nižší rychlosti rotace, která se postupně zvyšuje. Na rozdíl od gravitačního lití, jsou lící rychlosti podstatně vyšší. [24]

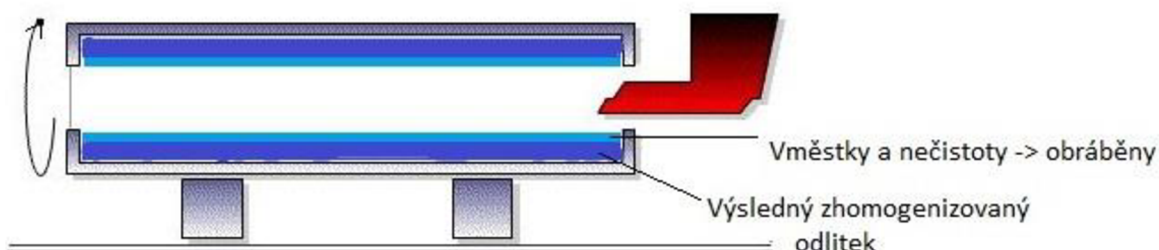
Roztavený kov se musí dostat do všech míst formy dřív, než začne tuhnout, s čím úzce souvisí teplota formy, která se nahřívá na co nejvyšší možnou teplotu, a otáčky rotace formy, které se pohybují od 300 do 3000 otáček za minutu. [13]



Obr.3: Princip odstředivého lití do kovové formy [24]

2.2 Odstřed'ování

Při odlévání do rotující formy se využívá jevu zvaného odstřed'ování, při kterém na částice působí síla normálového zrychlení, která je větší než síla gravitační. Tento jev zajišťuje i homogenizaci materiálu (proces, při kterém se díky promíchání dosáhne stejnorodé látky), přičemž cizí částice s jinou měrnou hmotností vypudí na povrch.



Obr.4: Zhomogenizování kovu při odstředivém lití [4]

Veškeré nečistoty, vměstky, struska, plyny a jiné nežádoucí složky jsou při rotaci přemístěny k vnitřnímu povrchu (viz. obr.3). Po odstranění této vrstvy obráběním vzniká čistší odlitek s lepšími mechanickými vlastnostmi a stejnoměrnou pevností. [3]

2.3 Odstředivá síla

Odstředivá síla je síla působící na těleso, v tomto případě na roztavený kov, v neinerciální vztažné soustavě směrem od středu trajektorie. Díky ní se kov dostane do všech míst formy, tudíž není třeba náliček či výfuků. [18]

Jde o fiktivní sílu odpovídající dle 3. Newtonova zákona akce a reakce síle dostředivé, vyjádřená vztahem:

$$F_d = F_o = m \cdot a_d = \frac{m \cdot v^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

Přičemž: F_d [N] – dostředivá síla

F_o [N] – odstředivá síla

m [kg] – hmotnost materiálu

a_d [$m \cdot s^{-2}$] – dostředivé zrychlení

v [$m \cdot s^{-1}$] – rychlost otáčení formy

r [mm] – poloměr rotující formy

ω [$rad \cdot s^{-1}$] – úhlová rychlost otáčení formy

2.4 Gravitační síla

Gravitační síla při vysoké rychlosti rotace nemá příliš vliv, což je pro tuto technologii výhodné, protože se materiál rovnoměrněji rozprostře po celé formě.

$$F_g = m \cdot g$$

Dle formy jsou doporučené silové působení 50-100 G pro kovové formy a 25-50 G pro formy pískové a pro složitější odlitky. Při vysokých otáčkách, to znamená při vysokých působeních sil, dochází ke vzniku nadměrného napětí a následné tvorbě tepelných trhlin. [13]

2.5 Coriolisova síla

Coriolisova síla je třetí ovlivňující složkou lití. Je vyjádřena vztahem:

$$F_c = m \cdot a_c = -2 \cdot m \cdot \omega \cdot v$$

Tato síla je v licím ději ve většině případech zanedbatelná, avšak někdy může být nebezpečná v oblasti vtokových kanálů. Znepříjemňuje vyplňování formy a následné tuhnutí. Hrozí vznik bublin plynu při styku kovu materiálu s formou.

Coriolisova síla závisí na rychlosti otáčení formy a jeho směru. Dále také na vzdálenosti okrajů od osy otáčení. [12]

2.6 Tuhnutí odlitku

Odlitek tuhne přímo ve formě. Odvod tepla zajišťuje povrch formy, který bývá většinou zvnějšku aktivně chlazen vodou či vzduchem, případně pasivně chlazen ve šperkařství.

Velký vliv na tuhnutí kovu ve formě má také lící teplota, přičemž nižší lící teplota je spojena s lepším zjemněním zrna a rovnoosou strukturou, zatímco vyšší lící teplota podporuje sloupovitý růst v mnoha slutinách. Lící teplota musí být dostatečně vysoká, aby byl zajištěn průtok a zatékání kovu. Na druhou stranu však nesmí být teplota vysoká příliš, aby se vyhlo hrubší struktuře a případnému natržení odlitku v důsledku přehřátí kovu.

Pro lepší odlévání a tuhnutí kovu často také předeheříváme samotné formy a to v rozsahu teplot 260-300°C. Předeheřátí slouží k zajištění jednotného cyklického lícího provozu a ke zkvalitnění lití. Rychlost nalévání kovu do formy se liší dle charakteristiky jednotlivých kovů. Je nutné nalít kov dostatečně rychle před jeho ztuhnutím, avšak ne příliš rychle, aby nedocházelo k nadměrným turbulencím a nevznikaly vzduchové bubliny. V praxi je výhodnější, co nejpomalejší lití, díky kterému lépe usměrníme tuhnutí a zatékání. [24]

3 ROZDĚLENÍ Odstředivého lití

Technologie odstředivého lití vytváří odlitky rozměrově přesné, povrchově čisté a kvalitní. Zhotovené odlitky můžeme, pro lepší kvalitu, galvanicky pokovovat (mědí, niklem, zlatem) nebo lakovat mokkými či práškovými laky.

Technologie odstředivého lití je rychlá a levná, tedy ekonomicky výhodná. Průměrná forma se dá vyrobit za jeden den a její cena se pohybuje od 2000 až do 20000 Kč. Tato technologie je vhodná, jak pro malosériovou výrobu do sta kusů vytvořené pomocí jednoho modelu, tak i pro sérii do sta tisíc kusů. Což znamená, že tato metoda bývá ve většině případů velmi produktivní. [21]

Rozdělení odstředivého lití podle polohy rotující kokily:

- Horizontální odstředivé lití
- Vertikální odstředivé lití

Metody odstředivého lití:

- Základní odstředivé lití (pravé)
- Poloodstředivé lití
- Odlévání na odstředivce [20]

3.1 Horizontální odstředivé lití

Horizontální odstředivé lití je vhodné pro válcovité odlitky s malou a střední tloušťkou stěny (do 150 mm). Minimální průměr vnitřního otvoru je 60 mm a maximální vnější průměr je 750 mm. Odlévání trubek, válců a kroužků s délkou do dvou metrů a hmotností do dvou tun. [5]

Formy jsou umístěny vodorovně a otáčejí se kolem vodorovné osy, proto musí být dobře izolovány, aby tavenina nezatuhla dřív, než dojde k dokonalému rovnoměrnému zatečení do všech míst formy. Izolačních materiálů je velmi mnoho, nejčastěji se však používají žáruvzdorné obložení z keramiky. Keramika se používá hlavně z důvodu odolnosti proti erozi a poškozování, které mohou být způsobovány z důsledků vysokých teplot odlitků. Použitím materiálů pro izolaci se proces výroby prodlužuje, tudíž se nevyužívá ve velkovýrobě. Nutná izolace je především při výrobě rolí. [24]

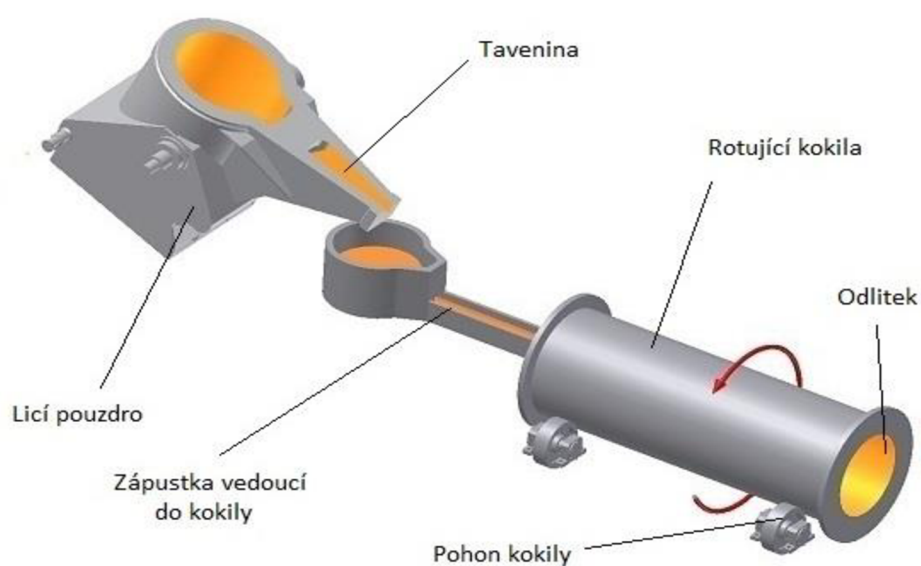
3.2 Vertikální odstředivé lití

Vertikální odstředivé lití je vhodné pro válcovité odlitky s malou i velkou tloušťkou stěny, případně se dají vyrábět i válce a disky plného profilu. Maximální vnější průměr je 1100 mm. Odlévání například pouzder, drtících kotoučů, polotovarů či bandáží hutních válců do délky jeden metr a maximální hmotnosti do dvou tun. [25]

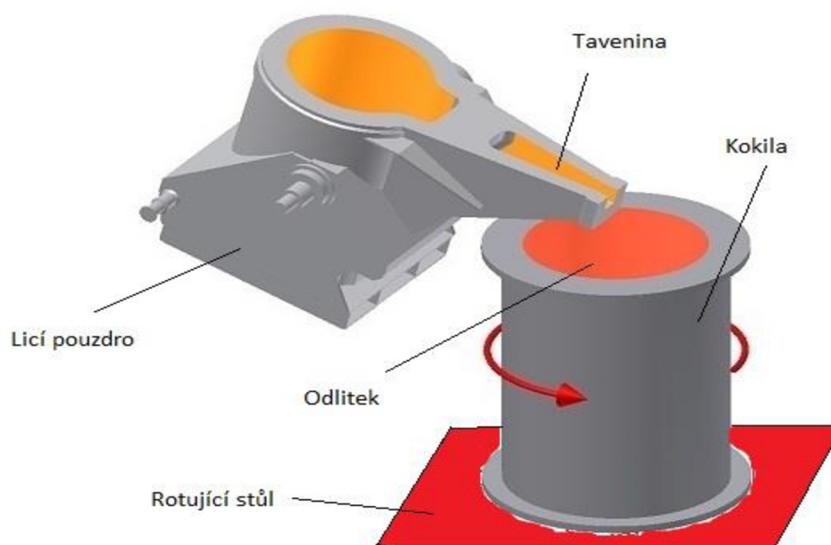
Formy se otáčejí kolem svislé osy a pomocí odstředivé síly je nalitý kov vyzvedáván do výšky a rozváděn dále na stěny formy. Nečistoty a struska jsou usazeny na vnitřní straně odlitku, z důvodu rozdílné hmotnosti se základním kovem a po ztuhnutí jsou následně obráběny. Na rozdíl od horizontálního odstředivého lití, nelze vytvořit odlitek s rovnoměrným vnitřním průměrem. Při vertikálním vzniká kužel. Čím větší je rychlost otáček kokily, tím menší je úhel kužele a tím “dokonalejší” je odlitek.

Vertikální odstředivé lití je nevhodné pro výrobu potrubí a dlouhých součástí. Tvar vnitřního obrysu však můžeme do určité míry řídit, uplatňujeme tento způsob pro výrobu součástí prstencového tvaru.

Konstrukce strojů je sestavena tak, aby stroje odolaly statickému a dynamickému zatížení. Skládají se z rotujícího stolu a na něm upevněné formy. Často bývají z bezpečnostních důvodů namontovány pod úroveň podlahy. Na strojích také nalezneme upozornění ke stříkání kovu, při házení či vadě na stroji. [24]



Obr.5: Horizontální odstředivé lití [25]



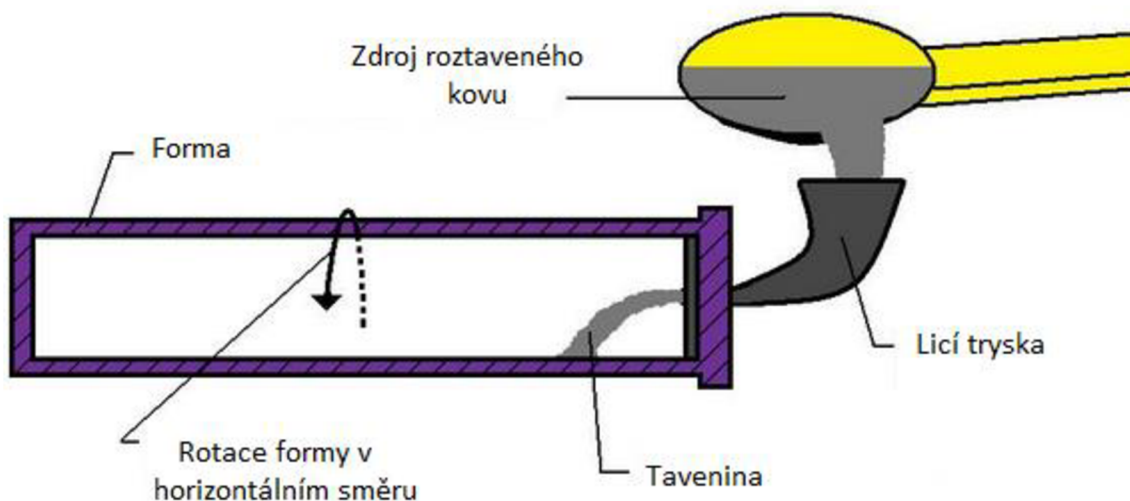
Obr.6: Vertikální odstředivé lití [25]

4 METODY Odstředivého lití

4.1 Pravé odstředivé lití

Pravé odstředivé lití je nejzákladnější, nejjednodušší a nejpoužívanější metoda odstředivého lití. Tavenina se lije do rychle rotující silikonové formy či kokily, která se otáčí kolem vlastní osy. U metody pravého lití se nepoužívají žádná jádra. Takto se odlévají odlitky převážně horizontálně, lze je však odlévat i vertikálně. Při horizontálním pravém lití má vnitřní dutina tvar dokonalého válce, zatímco při vertikálním má tvar paraboloidu, jehož úhel nedokonalosti od válce je závislý na rychlosti rotace formy. Tloušťka odlitku je závislá na množství nalitého materiálu. [13;22]

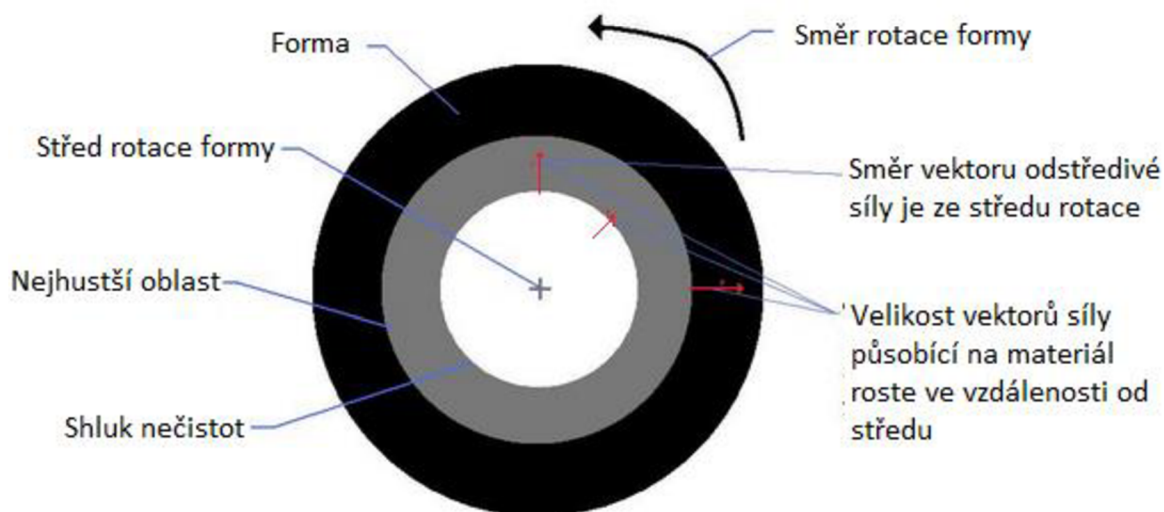
U pravého odstředivého lití klademe důraz na velkou rychlost rotace formy a dodržení válcovitého tvaru, symetricky od osy vlastní rotace. To je ovlivněno množstvím nalitého materiálu, lící teplotou, lící rychlostí a rychlostí rotace formy. [3]



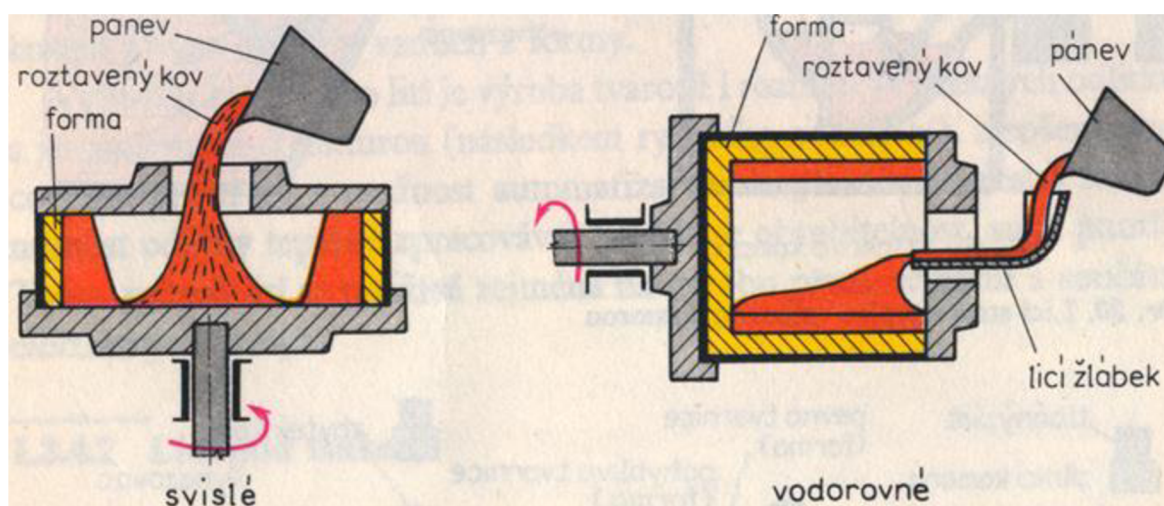
Obr.7: Odlévání pravým odstředivým litím [22]

Ačkoliv při výrobě kratších kusů vertikálním odstředivým litím jev vzniku paraboloidu nepozorujeme, u delších kusů ano, tudíž se snažíme zabránit vzniku paraboloidu při vertikálním pravém litím tak, že vyvineme co nejvyšší rychlost rotace pro rovnoměrnější rozprostření taveniny po stěně formy. Základním pravidlem je, že délka odlitku nesmí přesáhnout dvojnásobek průměru, jinak hrozí vznik kužele.

Pro odlitky větší délky tedy volíme horizontální pravé lití. Využíváme jej k odlévání rour, trubek, pouzder ložisek, plášťů či dutých hřídelí. Odlitky mívají vnější průměr od 50 až do 1900 mm a délku až 9000 mm. Tloušťka stěny může být až 140 mm. [25]



Obr.8: Silový diagram pravého odstředivého lití [22]



Obr.9: Schéma pravého odstředivého lití vertikálního(svislého) a horizontálního(vodorovného) [21]

4.1.1 Do silikonových forem

Pravé odstředivé lití se provádí do silikonových forem pouze při odlévání materiálů, které mají nízké tavné teploty, jako jsou například zinek, cín, olovo či polyester. Teplota lití se volí co nejnižší, protože při vyšších lících teplotách je kov málo viskózní, nastávají vady v oblasti dělicí roviny odlitku a při vyšších teplotách dochází k vypalování formy. [9]

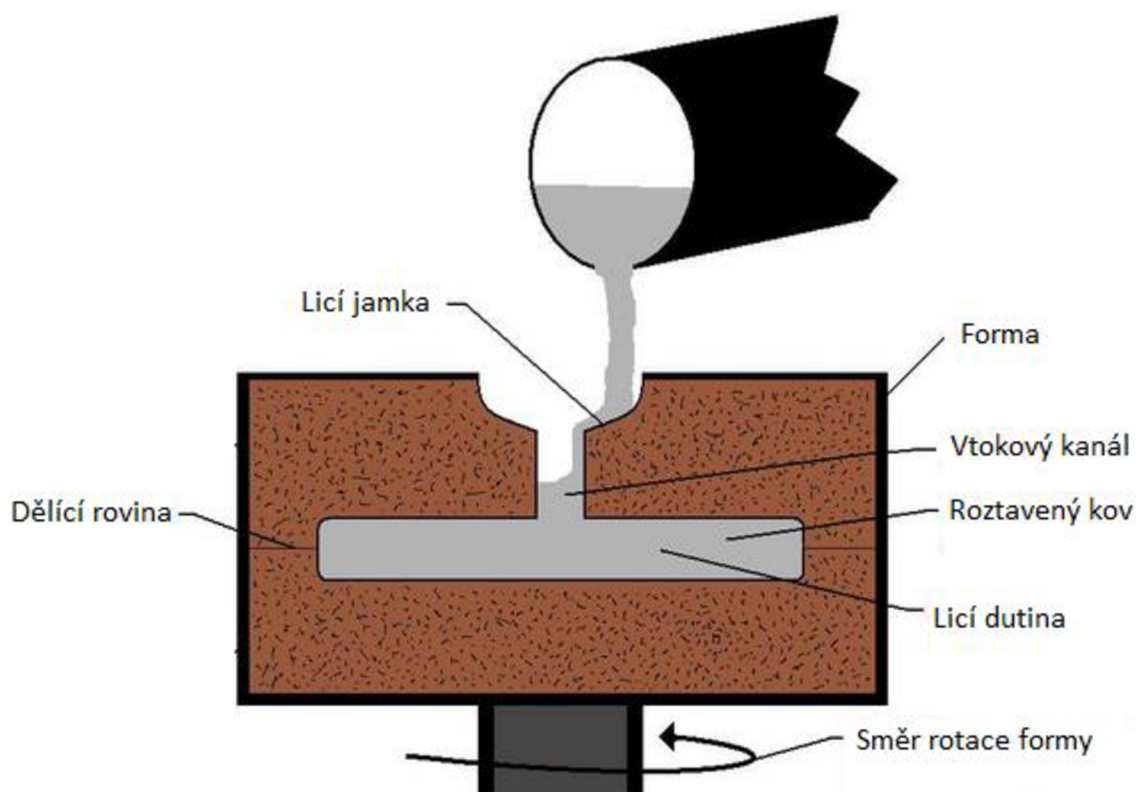
4.1.2 Do kokil

Metoda pravého odstředivého lití do kokil se dá použít pro všechny kovy s různými tavnými teplotami. Pro odlišné kovy se však často liší tvary samotných kokil a pro některé je třeba využívat výstelek kokil pro zlepšení zabíhavosti. [16]

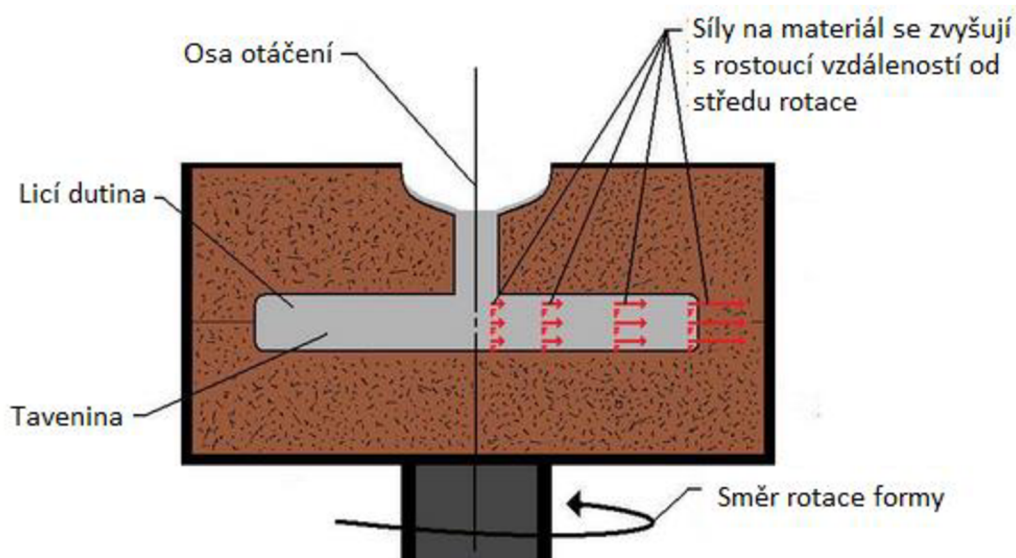
4.2 Poloodstředivé lití

Hlavními rozdíly poloodstředivého lití od základního (pravého) lití je, že kov odléváme do pískových forem. Při poloodstředivém lití se mohou používat jádra a rotace formy vůči vlastní ose je vždy vertikální.

Odlitky vyrobené touto metodou jsou symetrické právě dle vlastní osy rotace. Tavenina je ve všech místech formy, včetně vtokového kanálu a její tuhnutí probíhá z obou směrů. [20]



Obr.10: Poloodstředivé lití – nalévání kovu [22]



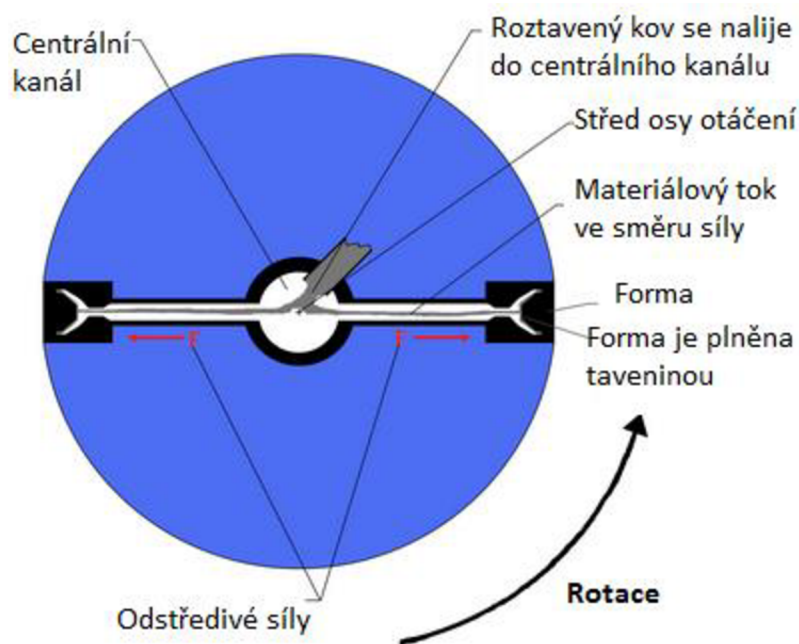
Obr.11: Poloodstředivé lití – proces tuhnutí ve formě [22]

Tato metoda se používá zejména pro výrobu řemenic, kladek a kol pro pásová vozidla (viz. Obr.9 a obr.10). Rychlost rotace formy nemusí být tak velká, jako je tomu u pravého odstředivého lití, stačí taková, aby zajistila zatečení kovu do vnějšího okraje formy. Tato metoda je, na rozdíl od metody gravitačního lití, vhodná pro tenkostěnné odlitky, přičemž díky odstředivé síle tavenina stihne zatéct do všech míst formy ještě před zatuhnutím. [13]

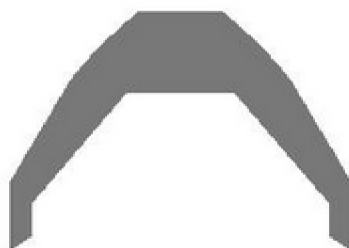
4.3 Odlévání na odstředivce

Jedná se o vertikální metodu, která se velmi využívá v oblasti výroby drobných nesymetrických odlitků, které nelze otáčet kolem vlastní osy, jako jsou zejména zátky, třmeny, držáky a těla ventilů. Licí dutiny jsou uspořádány kolem středové osy, díky čemuž lze vyrábět více odlitků najednou. Lítí probíhá skrz centrální kanál. Díky odstředivé síle je možno plnit více forem záraz uspořádaných ve více vrstvách, které však musí být uspořádány soustředně. Důsledkem toho má tato metoda, krom vysoké jakosti, velmi dobrou efektivitu výroby spojenou s plněním více forem zároveň. [13;22]

Odlévání na odstředivce je často kombinováno s litím na vytavitelný model. Odlitky mají výborné povrchové detaily. [26]



Obr.12: Odlévání na odstředivce [22]



Obr.13: Odlitek odlitý na odstředivce [22]

4.4 Metoda TEKCAST [20]

Princip odlévání speciální technologií TEKCAST spočívá v otisknutí kovového modelu, zvětšeného o přídavky na smrštění. Modely jsou zaformovány ručně do měkké nevulkanizované formovací hmoty TEKSIL. Lze takto vytvářet dělicí rovinu libovolně členitou. Forma je uzavřena do vulkanizačního rámu a vložena do vulkanizačního lisu. V lisu za vysokého tlaku a teploty kolem 180°C proběhne vulkanizace formovací hmoty do pevného skupenství s dutinou kopírující povrch a tvar modelu. Po provedení této operace zůstane ve formě dutina – přesný otisk modelu. Do dutiny se ručně nařeže odvzdušňovací a vtokový systém a forma je připravena k odlití. Na odstředivém lícím stroji lze takto odlévat slitiny zinku, kompozice olova a cínu, bílé kovy (Sn - Sb - Pb), polyuretan či slévárenský vosk.

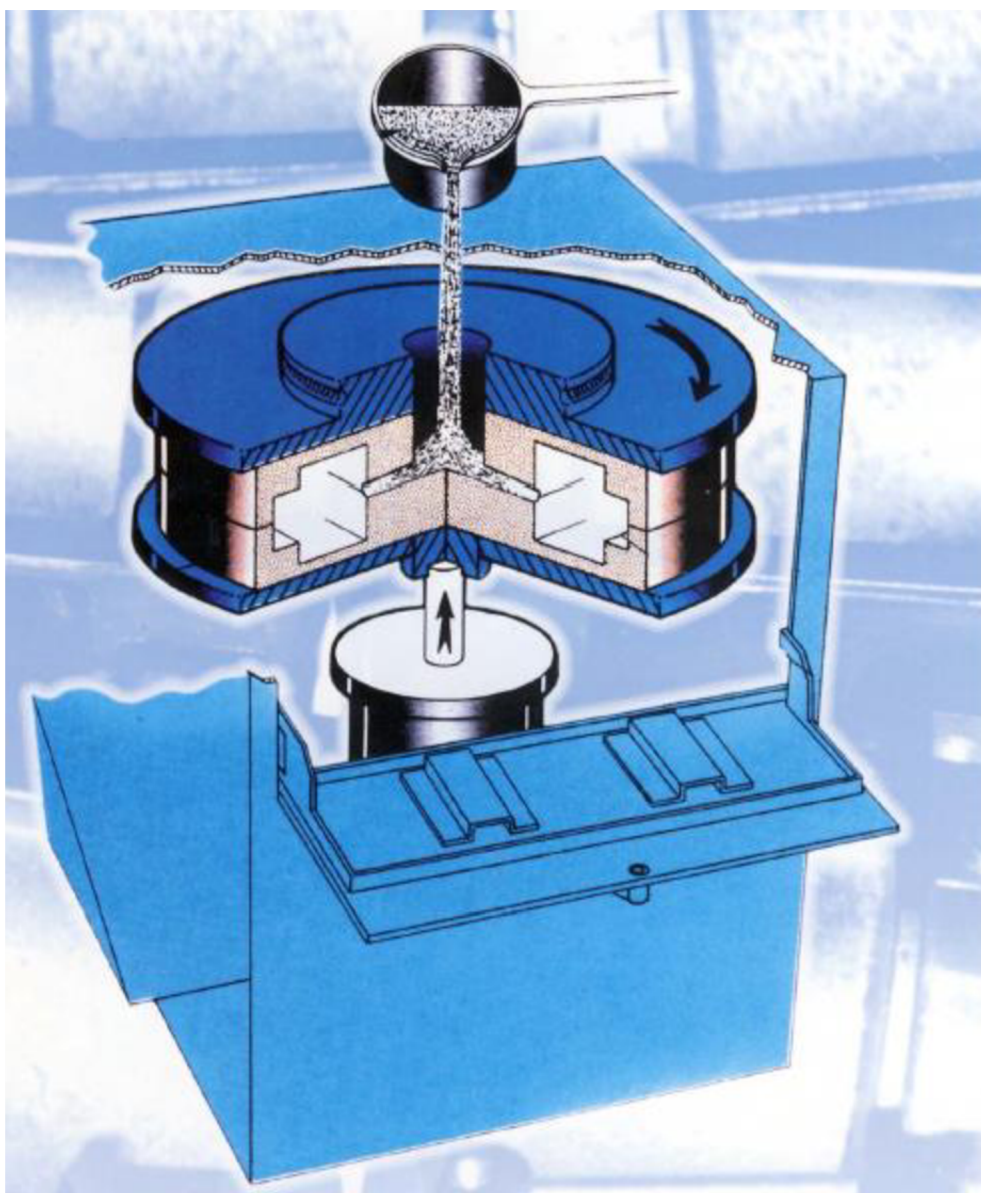
Odlitky jsou tvarově i rozměrově přesné a povrchově velmi kvalitní. Lze je dále upravovat galvanickým pokovením nebo lakováním mokkými či práškovými laky, avšak často je není třeba nijak opracovávat.

Lící stroj pro technologii TEKCAST zajišťuje tři nezbytné funkce pro výrobu velmi přesných strojních částí:

- **Uložení a udržení formy** – Tekcastem patentovaný systém drží formu v rovině horizontální, přičemž pneumatický válec během lícího cyklu stlačuje obě poloviny formy k sobě.
- **Lití pod tlakem** – Odstředivá síla je regulovatelná nastavením počtu otáček. Zajistí naplnění formy kovem pod tlakem a vyplní tak veškeré dutiny formy.
- **Dokonalá regulace tlaku a odstředivé síly** – Součástí vybavení lícího stroje je automatické nastavení tlaku, délky lícího cyklu a tlaku. Díky tomu optimalizujeme kvalitu odlitků, toleranci a rozměrovou přesnost.



Obr.14: Technická zařízení nutná pro metodu TEKCAST [20]



Obr.15: Princip metody TEKCAST [20]

Metodou TEKCAST odléváme různou škálu odlitků, a to například základny, držáky, nosníky, spojovací členy, kryty, skelety, krabice, víka, ozubená kola, pastorky, páky, táhla, součástí pro automobilový průmysl, kliky, páky, paraboly, znaky, dekorativní odlitky, odlitky pro reklamu, galanterii i bižuterii.

5 ODSTŘEDIVÉ LITÍ TRUBEK

Nezákladnějším, nejrozsáhlejším a nejvyužívanějším produktem metody odstředivého lití je trubka. Právě kvůli trubkám je pro nás odstředivé lití tak důležité a nepostradatelné. Trubky odléváme horizontálním odstředivým litím metodou pravého lití.



Obr.16: Stroj na horizontální odstředivé lití trubek.

5.1 Tavba materiálu

V prvním kroku musí tavič v indukční peci namíchat a natavit požadovaný materiál, ze kterého chceme mít trubku. Trubky se touto metodou odlévají z téměř všech železných i neželezných kovů, vždy záleží na zákazníkovi, ze kterého materiálu trubku požaduje. Po roztavení veškerého požadovaného množství, tavič odebere vzorek taveniny a zkontroluje chemické složení odlitku, zda vyhovuje zadání.



Obr.17 a 18: Indukční pec pro roztavení kovu



Obr.19: Metalurgická zkouška odlitého kovu pro zjištění chemického složení

5.2 Předoperační příprava

Před samotným odlitím roztaveného kovu do rotující kokily pro odstředivě lité trubky, musí být stroj kokila i nálevka v dostatečné teplotě, proto je zahříváme na provozní teplotu, alespoň hodinu před odlitím.



Obr.20: Nahřátí formy a nálevky

Po nahřátí formy se kokila musí potřit žáruvzdorným nátěrem, který zabraňuje navařování kovu na stěnu kokily. Tloušťka žáruvzdorné výstelky ovlivňuje rychlost tuhnutí odlévaného kovu a určuje počet vzniklých povrchových vad. Nejvyužívanější metodou výstelkování je metoda mokrý sprej.

Metoda mokrý sprej nejméně ovlivňuje (oproti jiným metodám, jako jsou například metoda pískování, výstelka z pýchovaného písku, výstelkování pískem s umělou pryskyřicí) povrch odlitku a není náročná na vytvoření.

Při 200°–350°C se nastříká pomocí rozprašovací trysky žáruvzdorná směs do rotující kokily. Vodorovným posunem trysky se nanese rovnoměrná vrstva 1-2mm tloušťky směsi. Základní funkce žáruvzdorné směsi jsou, že kromě zamezení natavení kovu ke kokile, také zajišťuje dostatečnou pevnost a odolnost kokily proti mechanickému poškození od litého kovu. Žáruvzdorná směs je vyrobena ze surovin, jako je bentonit, silikátová moučka a jiné.

Pro různé odlévané kovy se používají různé žáruvzdorné výstelky.



Obr.21 a 22: Žáruvzdorná směs nanášená do rotující kokily

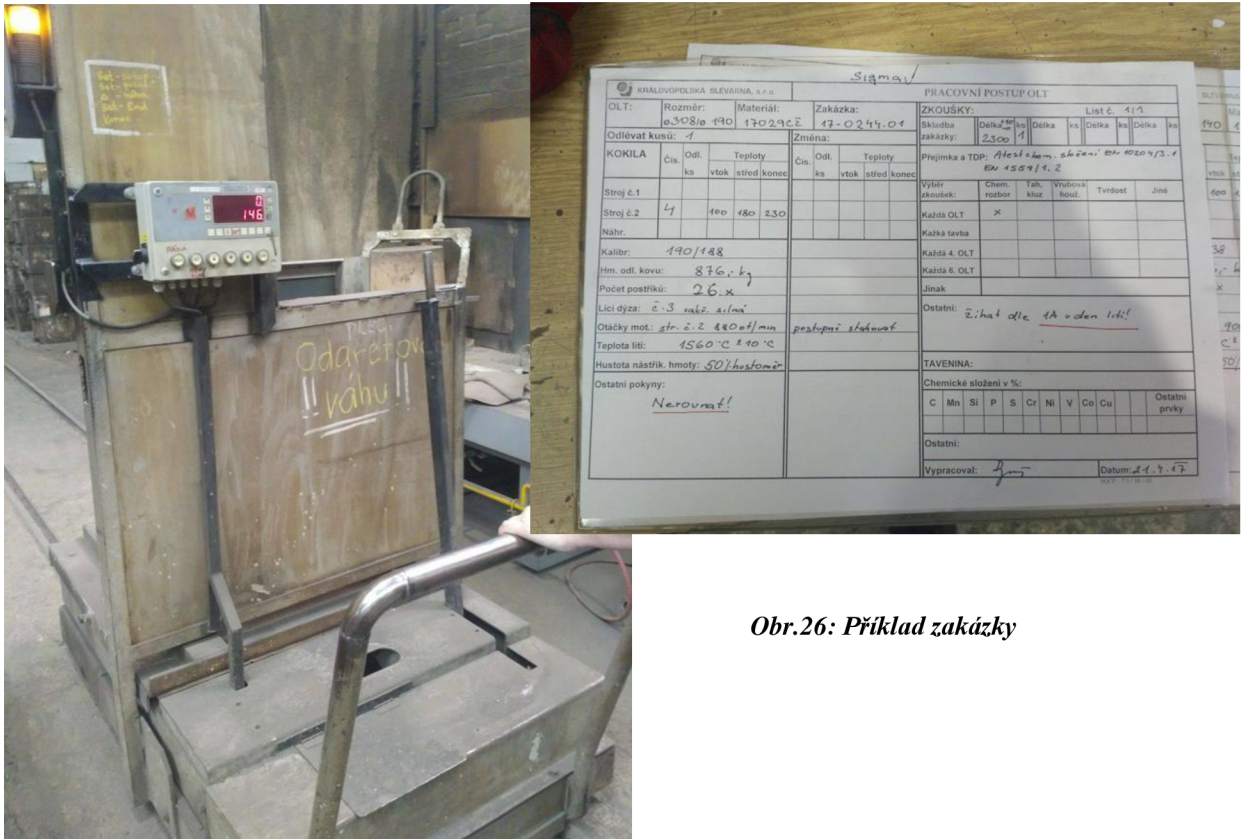
Před odlitím trubky se ještě musí kokila dostatečně utěsnit, aby při odlévání a rotaci kovu ve formě, nedocházelo k uvolňování a tavenina nestříkala kolem a neohrožovala obsluhu.



Obr.23 a 24: Různá těsnění pro různé kovy k utěsnění kokily

5.3 Odlití

Po roztavení kovu v indukční peci se tavenina přelije do lící pánve a na vozíku je transportována ke stroji. Odlévač ještě před nalitím dle zakázky zkontroluje váhu a teplotu kovu.



Obr.26: Příklad zakázky

Obr.25: Vozík s váhou pro převezení lící pánve



Obr.27: Měřák teploty taveniny



Obr.28: Různě velké lící pánve

Po zkontrolování vhodnosti taveniny dle zakázky tavič odstraní strusku lžící a přes již připravenou nálevku (lící trychtýř) lije roztavený kov do rotující kokily. Doba odlévání se pohybuje od několika desítek vteřin do několika minut. Vždy záleží na velikosti a tloušťce odlévané trubky.



Obr.29: Různě velké nálevky (trychtýře)



Obr.30: Lítí kovu skrz nálevku [17]

5.4 Tuhnutí

Roztavený kov postupně tuhne přímo v rotující formě. Doba tuhnutí závisí na velikosti i materiálu a pohybuje se od několika desítek minut do několika hodin.

Po zatuhnutí se trubka vytahuje pomocí háku a jeřábem je přesunuta na odkladné místo, kde zcela zchladne.



Obr.31: Vytažení ztuhlé trubky ze stroje [17]

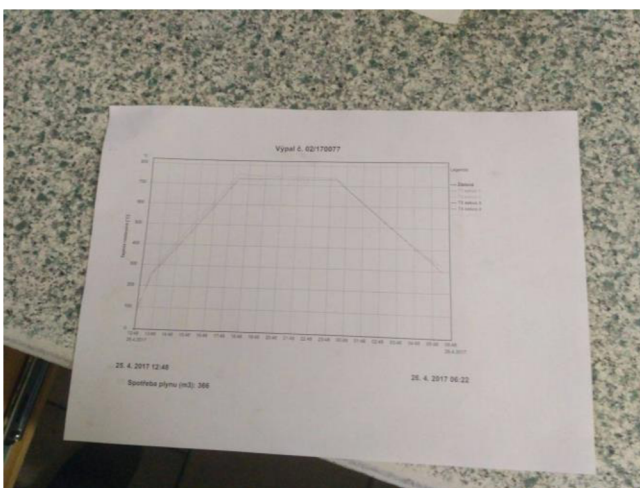


Obr.32: Přemístění trubky jeřábem [17]

5.5 Upravování a dokončování

5.5.1 Normalizační žíhání

Po zchladnutí se trubky velice často normalizačně žíhají za účelem zlepšení vlastností na žádost zákazníka. Trubce se zvyšuje povrchová tvrdost a dochází ke zjemnění zrn austenitu.



Obr.33: Graf tepelného zpracování (teplota na čas)



Obr.34: Odlitá trubka zajiždí do žíhací pece

5.5.2 Rovnání

Po tepelné úpravě se trubka kontroluje. Nejprve je třeba zkontrolovat její přesnost. Pracovník kontroluje přesnost pomocí vodováhy a případně ji pomocí rovnačky zohýbá a rovná.



Obr.35: Kontrolor narovnává mírně zdeformované trubky

5.5.3 Řezání

Již hotová trubka s vyhovujícím průměrem a tloušťkou stěny se nařezává na požadovanou délku, kterou si určuje zákazník. Zbytky a odřezky jsou vráceny zpět k indukční peci a použijí se jako vsázka.



Obr.36: Nařezaná trubka na požadovanou délku

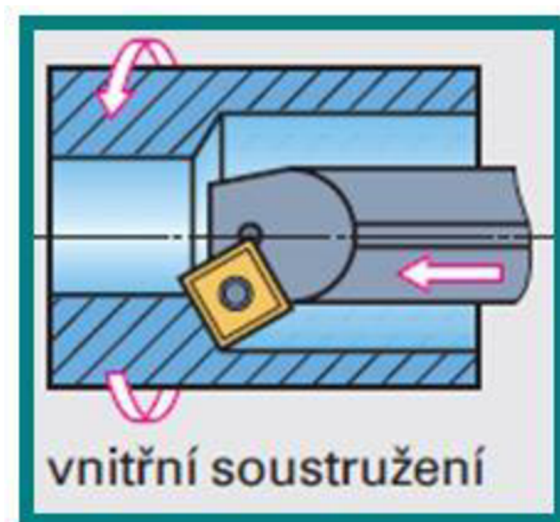


Obr.37: Řezačka

5.5.4 Obrábění trubky

Poslední úpravou je obrobení vnitřního průměru trubky. Jak bylo zmíněno v předešlých kapitolách, tak při odstředivém lití dochází k nepříliš dokonalému vnitřnímu průměru. Drsnost i přesnost vnitřní strany není příliš kvalitní, proto se trubky velmi často třískově obrábějí ke zlepšení kvality vnitřního průměru.

Trubky se takto obrobí buď přímo po výrobě (pokud má slévárna přidruženou obrobnu) nebo si tyto produkty slévárny obrobí zákazník sám.



Obr.38: Schéma třískového obrábění trubky [8]

5.6 Export

Posledním krokem při výrobě trubky je balení a následný export zákazníkovi.



Obr.39: Odstředivě odlité trubky



Obr.40: Trubky připravené k exportu

6 MATERIÁLY

Odstředivým litím lze odlévat téměř veškeré materiály, které lze odlévat jinou metodou odlévání do pískových forem. Čím větší je požadovaná velikost odlitku, tím vyšší jsou otáčky stroje.

6.1 Ocel

Jedním ze základních materiálů pro odlévání trubek je ocel. Ocel odlévaná odstředivým litím vykazuje lepší fyzické vlastnosti než ocel odlévaná gravitačním litím. Jedná se o zjemnění zrna, zvýšení pevnosti v tahu a možnosti delšího protažení až o 50%.

Využití ocelových odlitků pro složitější odlitky, trubky pro chemický a ropný průmysl, pro válečky pecí atd.



Obr.41: Ocelové trubky různých průměrů a tloušťek



Obr.42: Struktura oceli odstředivě odlité (vlevo) a gravitačně odlité (vpravo) [13]

6.2 Litina

Odlévat můžeme široké spektrum litin. Pro namáhané tlakové spoje se využívá tvárné litiny a pro odpadní trubky litiny s lupínkovým grafitem. Trubky z litiny s kuličkovým grafitem často nahrazují plastové trubky v interiérech budov. Vyrábí se tenkostěnné odlitky z litiny, které by nešly odlít gravitačním litím z důvodu ztuhnutí taveniny dříve, než stihne zatéct. Odlévání litiny odstředivým litím je díky odstředivé síle ekonomicky výhodnější než odlévání gravitačním litím. Z litiny se odlévají dvouvrstvé materiály, přičemž se kombinuje kvalitní formovací materiál s tuhým, k pevnému usazení v osách.

Využití litinových odlitků pro drenážní trubky, tlakové trubky, vložky atd. [13;15]



Obr.43: Motorové vložené válce z šedé litiny [20]



Obr.44: Dvouvrstvé mlecí válce (vnější vrstva z tvrdé, vnitřní vrstva z šedé litiny) [20]

6.3 Měď

Odlévat můžeme součástky téměř ze všech slitin mědi, které mohou v krajních případech vážit až 12 tun. Průměr odlitku se pohybuje mezi 5 milimetry a 4 metry. Odlévání mědi je v porovnání s ostatními materiály ekonomicky výhodnější, produkt bývá pouze opracováván hrubou.

Ze slitiny měď-nikl se odlévají komponenty pro námořní potřeby, jako jsou těla ventilů či trubky vedené trupem lodí. Odlitky z této slitiny jsou velmi odolné mořské vodě.

Pro výrobu přírub se využívá hliníkových bronzů, které obsahují kolem 10% hliníku, mají nízkou teplotu tavení, ale velmi mění své vlastnosti v závislosti na malé změny teplot. Tyto materiály vykazují dobrou svařitelnost.

Nejvyužívanější slitinou mědi pro odstředivé lití je bronz. Odlitky vyrobené touto metodou se prezentují zvýšenými mechanickými vlastnostmi oproti odlitkům gravitačně odlitých. Zrno u odstředivě odlitých odlitků je jemnější, odlitek lze více protahovat a taky má vyšší pevnost v tahu.

Měděné odlitky se využívají jako pouzdra, kroužky, vložky, ozubené a šnekové věnce, klece válečkových ložisek atd. [19]



Obr.45: Měděné trubky různých průměrů [6]

6.4 Zinek

Pro odstředivé lití se nevyužívá čistého zinku, avšak často se odlévají jeho slitiny. Nejpoužívanější z nich je slitina Zn-Al, která se ještě často vylepšuje přidáním železa o nízkém obsahu uhlíku kvůli zvýšení odolnosti vůči opotřebení. Slitiny zinku odléváme do gumových forem. Slitiny zinku se odlévají metodou TekCast. Častými produkty jsou dekorativní předměty. [2;11]



Obr.46: Dekorativní předměty a bižuterie ze slitin zinku [2]

6.5 Hliník

Odstředivým litím neodléváme ani čistý hliník, avšak jeho slitiny jsou často nejvhodnější materiály pro tuhle metodu odlévání. Hlavní výhodou jsou krátké doby tuhnutí. Problémovými slitinami hliníku jsou takové, v nichž je vysoký obsah fosforu, který zhoršuje oddělitelnost odlitku z formy, nebo olova.

6.6 Titan

Odlitky z titanu vykazují nižší únavovou pevnost vlivem uvolňování kyslíku při reakci forma-kov. K odlévání titanových slitin používáme formy, které co nejméně reagují s titanem (formy vzniklé metodou vytavitelného vosku). Titan vykazuje vysokou viskozitu, proto dochází ke špatné zabíhavosti materiálu do formy. [27]

6.7 Bimetalické odlitky

Odstředivé lití nám umožňuje odlévání vícevrstvých materiálů válcových tvarů. Materiály se od sebe liší teplotou tání. Odlévají se oba (všechny) materiály zvlášť, přičemž doba mezi dokončením prvního odlití a počátkem druhého by měla být maximálně 60 sekund. Produktem je výrobek s odlišnými vlastnostmi na vnější a vnitřní vrstvě. Častými požadavky na produkty je rozdílná odolnost materiálu na vnitřní a vnější vrstvě vůči mechanickému namáhání. [14]

Bimetalické součásti se nejčastěji využívají pro trubky na chemikálie, ropu nebo vodu. Mezi nejčastější kombinace materiálů patří **ocel-měď**, **ocel-nikl**, **nerezová ocel-šedá litina**, **nikl-šedá litina**, **měď-šedá litina** (**první materiál je vnější a má vyšší teplotu tuhnutí – druhý materiál je vnitřní a má nižší teplotu tuhnutí**). [13]

7 FORMY

Pro formy na odstředivé lití se využívá různorodých materiálů, jak je tomu u statických metod. Často jde o pískové formy, ty však vykazují nízkou tepelnou vodivost, to znamená že při styku s některými slitinami dochází k větší kazivosti. Při odstředivém litím vykazují odlitky lepší mechanické vlastnosti než u statických metod. U lití do pískových forem se jedná zhruba o 10% zlepšení, u lití do permanentních forem se jedná až o 50% zlepšení v pevnosti, tahu a tvrdosti.

7.1 Formy z kovu

Pokud je to možné, používají se trvalé formy (kokily). Kovové kokily mohou být z litiny (k odlévání bronzu a mosazi), z oceli (k odlévání hliníku) nebo z mědi (k odlévání některých neželezných slitin). Kovové formy mají vysokou pevnost, rychle se ochlazují, vysokou životnost a dobře se vyjímají odlitky. [15]

7.2 Formy z grafitu

Využití grafitových kokil u součástí velkých rozměrů z důvodu vysoké tepelné vodivosti formy. Oproti kovovým formám mají mnohem nižší životnost kvůli otírání grafitu při vyjímání odlitků. Výhodou je nižší pořizovací cena. [15]

7.3 Formy z gumy (silikonové)

Speciální formy, které využíváme především k odlévání zinku. Dochází k horším tolerancím kvůli silikonu, jak oproti kovovým, tak oproti grafitovým kokilám.

Odlitky ze silikonových forem jsou drobné, dekorativní. Dají se takto odlévat i jiné neželezné kovy, avšak u ostatních dochází k rychlému opotřebování formy.

Silikonové formy jsou levné, rychle vyrobitelné a snadno upravitelné. Pro delší životnost se formy chladí.

Jako izolační vrstva mezi formou a taveninou se používá nátěrů založených na silikátové bázi. [3;13]



Obr.47: Kokily pro trubky různých průměrů a různých tloušťek

8 SROVNÁNÍ TECHNOLOGIÍ

Tabulka 1: Popis různých slévárenských metod [10]

<i>Metoda lití</i>	<i>Specifické vlastnosti a použití</i>	<i>Série</i>
Pískové formy (ručně)	Jednoduchá výroba, malá přesnost, vhodné pro všechny kovy.	do 100ks
Pískové formy (strojně)	Základní sériová výroba ze všech kovů, malá přesnost.	nad 100ks
Skořepinové formy	Rychlá a jednoduchá příprava forem, přesné a hladké odlitky, drahé.	10^2 - 10^4
Sádrové formy	Dlouhá výroba a tuhnutí, přesné a hladké odlitky, vhodné pro neželezné kovy.	1 - 10^4
Vakuové formy (V-proces)	Formovací směs bez pojiva, snadné vytloukání a čištění, pro všechny kovy, omezené rozměry modelu.	10^2 - 10^3
Vytavitelný model	Vysoká přesnost, hladký povrch, minimální dokončovací operace, drahé, pro všechny kovy i tvary.	10^2 - 10^4
Spalitelný model	Jednorázové použití modelu, vysoká přesnost, možnost použití písku bez pojiva, pro velké i malé odlitky.	1 - 10^5
Keramické formy (Shaw)	Přesné a hladké odlitky, drahá výroba, pružný nebo pevný model.	1 - 10^3
Nízkotlaké lití	Dobré využití kovu, dobrá přesnost, drahé vyrobení formy, vhodné téměř pro všechny kovy.	10^3 - 10^5
Vysokotlaké lití	Výborná přesnost a kvalita, produktivní metoda, drahá forma a stroj, vhodné pro neželezné kovy a litinu.	10^3 - 10^5
Odstředivé lití	Jednoduchá výroba válcovitých odlitků, zlepšení mechanických vlastností, vhodné téměř pro všechny kovy	10^3 - 10^4

Tabulka 2: Charakteristiky odlitků u základních metod odlévání [10]

<i>Metoda</i>	<i>Rozměry [mm]</i>	<i>Tolerance (IT)</i>	<i>Hmotnost [kg]</i>	<i>Tloušťka [mm]</i>	<i>Drsnost R_a</i>
Pískové formy	5 - 5.10 ³	15	2.10 ⁻² – 3.10 ⁵	3 – 600	12,5 - 200
Skořepinové formy	2 – 5.10 ²	13	0,2 – 150	2 – 40	6,3 – 25
Sádrové formy	1 – 5.10 ²	12	0,1 – 15	1 – 20	1,6 – 12,5
Vakuové formy	5 – 3.10 ³	14	0,1 - 10 ³	2 – 200	12,5 – 200
Vytavitelný model	5 – 2.10 ³	10	10 ⁻³ - 10 ²	0,2 – 20	1,6 – 25
Spalitelný model	10 – 5.10 ³	12	1 - 10 ⁵	2 – 600	12,5 – 100
Keramické formy (Shaw)	1 – 5.10 ²	13	1 - 10 ³	2 – 40	3,2 – 25
Nízkotlaké lití	50 - 10 ³	12	0,5 - 10 ³	2 – 50	3,2 – 12,5
Vysokotlaké lití	1 – 2.10 ³	10	10 ⁻³ - 50	0,4 – 15	1,6 – 12,5
Odstředivé lití	50 - 10 ⁴	12	0,5 – 5.10 ³	5 - 500	6,3 - 25

Z porovnání s ostatními metodami jasně vychází, že odstředivé lití je velice konkurence schopnou a výhodnou metodou, jak v oblasti tenkých rotačních odlitků, u kterých by při gravitačním lití nestihla tavenina zatéct do všech míst formy před zatuhnutím, tak hlavně v oblasti výroby dutých válcových výrobku, především trubek. Díky minimální zmetkovitosti je to vhodná metoda pro vyrábění dekorativních odlitků z různých slitin, přičemž hmotnost odlitků se může pohybovat v širokém spektru, a to od půl kila až k odlitkům, které mohou vážit až pět tun.

9 VÝHODY A NEVÝHODY Odstředivého lití

Hlavním důvodem pro volbu polotovaru odlitého odstředivým litím bývá úspora materiálu a financí kvůli obrábění vnitřní dutiny výrobku.

9.1 Výhody odstředivého lití

- Malá zmetkovitost
- Jemnější struktura zrna odlitku
- Menší požadavky na obsluhu
- Kvalitní vícevrstvé odlitky – dobré metalurgické spojení materiálů
- Lepší mechanické vlastnosti vůči statickým metodám
- Lepší užité vlastnosti vůči statickým metodám
- Vysoká homogenita a čistota materiálu
- Odstředění vměstků a nečistot na povrch → obrobení
- Využití v těžších a náročnějších podmínkách

9.2 Nevýhody odstředivého lití

- Často nutnost upravovat vnitřní dutinu (obrabění)
- Mohutnější odlitky jsou časově náročné
- Odstředivé lití je tvarově omezené
- Nelze odlévat odlitky s jinou než válcovou dutinou
[3;5;13;20;23;25]

ZÁVĚR

Technologie odstředivého lití je metoda využívající odstředivé síly k lepšímu a přesnějšímu vytváření odlitků. Odstředivým litím lze odlévat tenkostěnné rotační odlitky či drobné odlitky, které by nebylo možno vyrobit metodou gravitačního lití.

Takto odlité odlitky jsou velmi přesné a ve většině případech menší odlitky není třeba nijak dále upravovat, obrábět, povlakovat či dokončovat. Větší odlitky bývají upravovány jen minimálně. Produkty odstředivého lití také vykazují výborné hodnoty tvrdosti a pevnosti povrchů. Konkrétní srovnání metod a jejich odlitků je zpracováno v kapitole 8.

Práce informuje o historii, popisuje celý proces odlévání, charakterizuje metody, představuje formy i vhodné materiály, srovnává slévárenské metody a také konkrétně popisuje výrobu nejzákladnějšího produktu – trubky.

Odstředivé lití je v práci rozdělováno do 4 metod. První je pravé odstředivé lití, které je metodou převážně horizontální, avšak může být i vertikální. Je to nejzákladnější a nejpoužívanější metoda pro výrobu dutých odlitků válcových tvarů. Druhou metodou je poloodstředivé lití, které je metodou vždy vertikální a odlévají se takto symetrické, často tenké, odlitky. U této metody dochází k využívání jádra. Třetí je odlévání na odstředivce, což je taktéž vertikální metoda, vhodná pro výrobu drobných nesymetrických součástí, přičemž lze odlévat více forem naráz. Nejméně známou metodou je metoda Tekcast, jejíž princip spočívá v otisknutí kovového modelu. Touto metodou se většinou odlévají neželezné slitiny (Zn, Pb, Sn). Produkty jsou nejčastěji bižuterie a dekorativní odlitky.

Významná část práce je věnována výrobě ocelové trubky. V páté kapitole je krok po kroku popsán celý cyklus výroby. Proces začíná samotným tavením vhodného materiálu dle zakázky zákazníka, pokračuje předoperační přípravou stroje, samotným odléváním, tuhnutím až po dokončování, případnou úpravu a export.

Odstředivým litím však nelze odlévat pouze ocel, ale různé železné i neželezné slitiny, což je popisováno v šesté kapitole, kde jsou charakterizovány nejčastěji používané materiály, případně jejich konkrétní odlitky.

Závěr práce je věnován porovnávání odstředivého lití s jinými metodami a podrobnou rekapitulací výhod a nevýhod této metody.

Vzhledem k univerzálnosti, jednoduchosti a značným výhodám je na zamyšlenou, proč není tato metoda rozšířenější a oblíbenější. Základem je snadné vyvolání odstředivé síly, která nám zajistí lepší a kvalitnější odlévání, než je tomu u gravitačního lití.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. AGARI, Shailesh Rao, Mahantesh S TATTIMANI a Shrikantha S RAO. *Understanding Melt Flow Behaviour for Al-Si Alloys Processed through Vertical Centrifugal Casting - Materials and Manufacturing Processes* [online]. Taylor, 2015 [cit. 2017-04-07]. DOI: 10.1080/10426914.2015.1019093. ISSN 1042-6914.
2. BÍNA, VANĚK. *Slévárna zinku*. Pelhřimov, 2009. Dostupné z: <http://www.slevarnazinku.cz/cz/technologie-odstrediveho-liti-tekcast/>
3. BOLZ, Roger W. *Odstředivé lití*. Vítkovice: Roger W. Bolz, 1949,
4. BOLZANO, Bohdan. *Ocel v pohybu*. Kladno, 1995. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/sortiment-a-sluzby/odstredive-lite-trubky/vyrobnitechnologie>
5. CUSTOMPARTNET. *Custompartnet.net: Centrifugal casting* [online]. © 2014 [cit.2014-04-14]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/centrifugal-casting>
6. DEPOSITPHOTOS. *Měděné trubky různých průměrů*. 2017. Dostupné z: <https://cz.depositphotos.com/7094919/stock-photo-copper-pipes-of-different-diameter.html>
7. EL-GALY, Islam. *Characterization of functionally graded Al-SiCp metal matrix composites manufactured by centrifugal casting*. Alexandria, 2017. Dostupné z: http://ac.els-cdn.com/S111001681730100X/1-s2.0-S111001681730100X-main.pdf?_tid=bce9226e-1b74-11e7-aeec-0000aacb361&acdnat=1491557565_c9ff08b59f5c8c6df802708f13fb8ca6
8. ELEKTRONICKÁ UČEBNICE. *Strojrenství: Soustružení válcových ploch* [online].2007. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1223>
9. FABIAN, Vladimír a Dana BOLIBRUCHOVÁ. *Výroba zinkových odliatkov metodou odstředivého liatí - Slévárenství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2006, roč. 2006, č. 12.ISSN 0037-6825.
10. HERMAN, A. *Slévání* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní: 2010 [cit. 2014-03-29]. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/NVPO/slev_prednasky.pdf
11. CHAKRABARTI, A.K. *Centrifugally Cast ZA Alloys. Foundry Trade Journal international. Redhill: Fuel and Metallurgical Journals*. 1996, 124(8): 77-79. ISSN 0143-6902.
12. *China foundry*. 2008. China: Foundry Journal Agency. ISBN 1672-6421. ISSN 1672-6421.

13. JANCO, Nathan. *Centrifugal casting*. Des Plaines: American Foundrymen's Society. 1992. 96 s. ISBN 08-743-3110-2.
14. JOSHI, A.M. CENTRIFUGAL CASTING. *Indian Institute of Technology*. 2000. Dostupné z: <http://www.metalwebnews.com/howto/casting/casting.pdf>
15. *Konstruieren und Giessen*. 2008. Düsseldorf [Germany]: VDI-Verlag GmbH. ISBN 0341-6615. ISSN 3-87260-148-2.
16. KRÁLOVOPOLSKÁ SLÉVÁRNA, s.r.o. *Licenční smlouva na odstředivé liti č. II*. Brno, 1978.
17. KRÁLOVOPOLSKÁ SLÉVÁRNA, s.r.o. *Ústav společných věd FAST VUT v Brně – Technologie odstředivého liti trubek*. Ing. Karel Ryšavý, VHS, c.1996.
18. LEPIL, Oldřich a Emanuel SVOBODA. *Příručka pro učitele fyziky na střední škole*. Praha: Prometheus, 2007. ISBN 978-80-7196-328-8.
19. LICHÝ, Petr a Tomáš ELBEL. *Studijní opora: Speciální metody výroby odlitků* [online]. Ostrava, 2014 [cit. 2014-02-08]. Dostupné z: http://www.fmmi.vsb.cz/export/sites/fmmi/cs/urceno-pro/studenty/podklady-kestudiu/studijni-opory/632-Lichy-Specialni_metody.pdf
20. RIETPIETSCH, B. *K výrobě odlitků slitin mědi odstředivým litím*. Slévárenství. Brno: Svaz sléváren ČR, 1994, 42(1): 25-28. ISSN 0037-6825.
21. SWEB.CZ, *Liti slévárenských slitin* [online]. 2014 [cit. 2014-03-23]. Dostupné z: volny.a2.sweb.cz/u%C4%8Divo/Druhy%20lit%C3%AD%20str.%2042-47.doc
22. THE LIBRARY OF MANUFACTURING. *Casting* [online]. 2009. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://thelibraryofmanufacturing.com>
23. Transactions of the American Society of Mechanical Engineers. *Centrifugal casting*. 1922. New York City: The Society. ISBN 0097-6822. ISSN 0097-6822. Dostupné z: <http://cybra.p.lodz.pl/Content/5929/CentrifugalCasting.pdf>
24. TÜRKELI, Altan. *Centrifugal casting* [online]. Istanbul: Marmara Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisligi Bölümü: © 2014 [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: http://mimoza.marmara.edu.tr/~altan.turkeli/files/cpt-9-centrifugal_casting.pdf
25. VÚHŽ a.s. *Odstředivé liti* [online]. Ostrava, 2011 [cit.2014-02-15]. Dostupné z: http://www.vuhz.cz/media/odstredive-odlitky/prospekt_odstredive_liti.pdf
26. WEI, Sufei. ASM Handbook: Casting. *Centrifugal casting* [online]. 2008, roč. 2008, č. 15, s. 667-673 [cit. 2014-04-14]. DOI: 10.1361/asmhba0005257. Dostupné z: <http://cctm-usa.com/news/Centrifugal%20Casting%20by%20Sufei%20Wei.pdf>
27. YONG, CH.Y. *Cu, Ni and Ti Alloys: Technology of Centrifugal Casting for Titanium Alloys*. In: 65. SSK.World Foundry CongressChina: P. R. China, 2002, s. 553-558.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Název
F_o	[N]	Odstředivá síla
F_d	[N]	Dostředivá síla
m	[kg]	Hmotnost materiálu
a_d	[m.s ⁻²]	Dostředivé zrychlení
v	[m.s ⁻¹]	Rychlost otáčení formy
r	[mm]	Poloměr rotující formy
ω	[rad.s ⁻¹]	Úhlová rychlost otáčení formy
F_g	[N]	Gravitační síla
g	[m.s ⁻²]	Gravitační zrychlení
F_c	[N]	Coriolisova síla
a_c	[m.s ⁻²]	Coriolisovo zrychlení

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Popis různých slévarenských metod [10]	36
Tabulka 2: Charakteristiky odlitků u základních metod odlévání [10]	37

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1: Produkty odstředivého lití [2]	10
Obr.2: Sochař Benvenuto Cellini [23]	11
Obr.3: Princip odstředivého lití do kovové formy [24]	12
Obr.4: Zhomogenizování kovu při odstředivém lití [4]	12
Obr.5: Horizontální odstředivé lití [25]	16
Obr.6: Vertikální odstředivé lití [25]	16
Obr.7: Odlévání pravým odstředivým litím [22]	17
Obr.8: Silový diagram pravého odstředivého lití [22]	18
Obr.9: Schéma pravého odstředivého lití vertikálního a horizontálního [21]	18
Obr.10: Poloodstředivé lití – nalévání kovu [22]	19
Obr.11: Poloodstředivé lití – proces tuhnutí ve formě [22]	19
Obr.12: Odlévání na odstředivce [22]	20
Obr.13: Odlitek odlitý na odstředivce [22]	20
Obr.14: Technická zařízení pro metodu TEKCAST [20]	21
Obr.15: Princip metody TEKCAST [20]	22
Obr.16: Stroj na horizontální odstředivé lití	23
Obr.17: Indukční pec pro roztavení kovu	23
Obr.18: Indukční pec pro roztavení kovu	23
Obr.19: Metalurgická zkouška odlitého kovu	24
Obr.20: Nahřátí formy a nálevky	24
Obr.21: Žáruvzdorná směs nanášená do rotující kokily	25
Obr.22: Žáruvzdorná směs nanášená do rotující kokily	25
Obr.23 a 24: Těsnění pro různé kovy k utěsnění kokily	25
Obr.25: Vozík s váhou pro převezení lící pánve	26
Obr.26: Příklad zakázky	26
Obr.27: Měřák teploty taveniny	26
Obr.28: Různě velké lící pánve	27
Obr.29: Různě velké nálevky	27
Obr.30: Lití kovu skrz nálevku [17]	27
Obr.31: Vytážení ztuhlé trubky ze stroje [17]	28
Obr.32: Přemístění trubky jeřábem [17]	28
Obr.33: Graf tepelného zpracování	28
Obr.34: Odlitá trubka zajíždí do žíhací pece	28
Obr.35: Kontrolor narovnává mírně zdeformované trubky	29
Obr.36: Nařezaná trubka na požadovanou délku	29
Obr.37: Řezačka	29
Obr.38: Schéma třískového obrábění trubky [8]	30
Obr.39: Odstředivě odlité trubky	30
Obr.40: Trubky připravené k exportu	30
Obr.41: Ocelové trubky různých průměrů a tloušťek	31
Obr.42: Struktura oceli odstředivě odlité a gravitačně odlité [13]	31
Obr.43: Motorové vložené válce z šedé litiny [20]	32
Obr.44: Dvouvrstvé mlecí válce [20]	32
Obr.45: Měděné trubky různých průměrů [6]	33
Obr.46: Dekorativní předměty a bižuterie ze slitin zinku [2]	33
Obr.47: Kokily pro trubky různých průměrů a různých tloušťek	35